

Kurzfassung

Metamorphose und Stoffhaushalt der Gneise
in der südlichen Oberpfalz

von

HANS BADER

Kurzfassung

**Metamorphose und Stoffhaushalt der Gneise
in der südlichen Oberpfalz**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Ludwig-Maximilian-Universität
zu München

vorgelegt
von
Hans Bader
aus
Memmingen

Mai 1959



5349/60

1. Berichterstatter : gez. Prof. Dr. G. Fischer

Tag der mündlichen Prüfung : 29. 7. 1959

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	1
A Einleitung	2
1 Lage des Untersuchungsgebietes und allgemeiner geologischer Überblick	2
2 Ältere Bearbeitung des Untersuchungsgebietes	2
3 Problemstellung	3
4 Erläuterung der Nomenklatur	3
B Sedimentäre Relikstrukturen in den Gneisen	4
1 Zirkone und Apatite	4
2 Quarzgerölle	6
C Präanatektische Gneise	6
1 Quarzitische Gneise	6
2 Kalksilikate	7
3 Biotit-Plagioklas-Gneise	8
D Anatektische Gneise	8
I Metablastitgneise	8
1 Cordierit-Plagioklas-Metablastitgneise	8
a) Cordierit - Blastese	9
b) Sillimanit in Cordierit	10
c) Plagioklasmetablastese	11
2 Orthogneise	11

3	Perlgneise	12
II	Metatexitgneise	13
III	Diatexitgneise	14
E	Der Stoffhaushalt der Gneise	14
I	Stoffbestand der präanatektischen Gneise	15
1	Quarzitischen Gneise	15
2	Kalksilikat-Gneise	15
3	Präanatektische Biotit-Plagioklas-Gneise	15
II	Der Stoffhaushalt der anatektischen Gneise	16
1	Die Cordierit-Metablastit-Gneise	16
2	Die Perlgneise	17
F	Zusammenfassung	19
I	Sedimentäre Relikte in den Paragneisen	19
2	Orogenese I. Intrusion der ersten Granite	20
3	Orogenese II	20
4	Anatektische Umprägung der Gneise	20
5	Orogenese III, Aufringen der Massivgranite	21
6	Der Stoffhaushalt der Gneise	21

Vorwort

Der vorliegenden Dissertation ging im Jahre 1957 eine Diplomarbeit voraus, die eine geologisch-petrographische Aufnahme des Blattes Neunburg vorm Wald zum Ziele hatte. Sie war eine Erläuterung zur geologischen Karte, in der die Gesteine vor allem makroskopisch beschrieben wurden.

Die dabei offen gebliebenen Fragen über den Metamorphoseablauf und den Stoffhaushalt sollen in dieser Arbeit eingehend untersucht werden.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Georg Fischer, danke ich besonders für sein Interesse an dieser Arbeit, für seine wertvolle Kritik sowie für seine Ratschläge, die er mir zuteil werden liess.

Ferner danke ich vielmals Herrn Dipl. Geol. D ü s i n g für die Überlassung von Dünnschliffen aus seinem Arbeitsgebiet sowie Herrn Dipl. Chemiker P ö t z l für die Ausführung von Gesteinsanalysen.

Häufige Diskussionen mit meinem Studienkollegen G. K r a u s und E. D i m r o t h erbrachten manche neuen Gesichtspunkte.

A Einleitung

1 Lage des Untersuchungsgebietes und allgemeiner geologischer Überblick

Das behandelte Gebiet, das über 230 qkm Fläche umfasst, liegt in der südlichen Oberpfalz etwa zwischen Regensburg und Weiden. Es wird genau umrissen durch die beiden Gradabteilungsblätter Oberviechtach und Neunburg vorm Wald 1 : 25 000, die auch als topographische Unterlagen bei der Kartierung dienten.

2 Ältere Bearbeitung des Untersuchungsgebietes

Die älteste und bis vor kurzem einzige geologische Aufnahme des Oberpfälzer Waldes geht auf C. W. von Gümbel zurück. In seiner "Geognostischen Beschreibung des Ostbayerischen Grenzgebirges" (1874, II) gibt er auch einen kurzen Überblick über unser Teilgebiet. Von Gümbel war noch befangen von der Vorstellung, dass ein Teil der Gneise und Granite aus einem Urmeer sedimentiert worden seien. Diese Auffassung wurde schon wenig später durch die Arbeiten von E. Weinschenk, F. Becke und F. E. Suess berichtigt. Nach diesen Forschern konnten besonders A. Wurm, M. Weber sowie F. K. Drescher-Kaden, P. Dorn, W. Hegemann und G. Fischer wertvolle Beiträge zur Geologie und Petrographie des Oberpfälzer und des bayerischen Waldes geben. Trotzdem blieb aber die "Gümbel-Karte" bis auf unsere Tage für weite Teile des ostbayerischen Kristallins die einzige geologische Unterlage. Erst in allerjüngster Zeit wurde von G. Fischer mit einer Reihe von Schülern fast die gesamte Oberpfalz neu kartiert und eine nach modernen Gesichtspunkten ausgerichtete Untersuchung durchgeführt.

3 Problemstellung

In der Diplomarbeit wurde versucht, die monoton mineralisierten Gneise auf Blatt N. v. W. zu beschreiben und zu gliedern. Schon bei dieser Arbeit zeigt es sich, dass das Altkristallin der südlichen Oberpfalz besonders interessant ist als Bindeglied zwischen den blastisch weniger veränderten Gneisen weiter im Norden und den anatektischen Gneisen im vorderen bayerischen Wald. Es lag daher nahe, die Gneise dieses Gebietes genauer auf ihr Ausgangsmaterial, auf die Mineralabfolge und auf Alter, Niveau und Intensität des Metamorphoseablaufes zu untersuchen. Weiterhin war es wichtig, auch auf den Stoffhaushalt und auf die Stabilitätsfelder von Mineralien näher einzugehen.

4 Erläuterung der Nomenklatur

In dieser Arbeit wird zu Bezeichnung der ultrametamorphen Gneise das Begriffsinventar verwendet, das in neuerer Zeit K. R. M e h n e r t (1947) nach einer eingehenden Durcharbeitung der Literatur geschaffen hat.

Im Folgenden wird für das "Zerfliessen" fester Gesteine zu granitoiden Endprodukten der Begriff Anatexis verwendet. Diese Anatexis führt nun über zwei Wege zu granitähnlichen Gesteinen, beide Vorgänge können sowohl nacheinander als auch völlig getrennt ablaufen.

Bei der Metablastese werden anatektische Strukturen allein durch eine Blastese, also durch eine mit Diffusionsvorgängen verknüpfte Umkristallisation erreicht. Dabei kann die Neuspaltung der Metablasten sowohl durch die Zufuhr ortsfremder Substanzen als auch durch interne Umkristallisation ausgelöst werden.

Genetisch neutral ist auch der Begriff der Metatexis. Mit diesem Wort soll ausgedrückt werden, dass sich Mobilisate auf makroskopisch sichtbaren Schmelzbahnen bewegen. Diese zumeist grob gemengten Gesteinsanteile kommen, wie Gefügebilder zeigen, der Beweglichkeit einer Schmelze zumindest sehr nahe.

Die nicht mobilisierten Restbestände bestehen im wesentlichen aus Biotit, Cordierit, Sillimanit sowie Apatit und Zirkon. Diatexite können bei den entsprechenden Bildungsbedingungen sowohl aus metablastischen wie auch aus metatektischen Gneisen entstehen. Das Gefüge der Diatexite ist regellos körnig und gleicht dem granitischer Tiefengesteine sehr stark.

Diese Gliederung der Anatexite kann häufig nur in grober Annäherung makroskopisch durchgeführt werden.

B Sedimentäre Reliktstrukturen in den Gneisen

1 Zirkone und Apatite

Nach den Dünnschliffuntersuchungen ist es wahrscheinlich, dass von allen Gemengteilen der Gneise nur die Zirkone und Apatite als Bestandteile des ehemaligen Sediment-Detritus angesprochen werden können.

Zu der gleichen Ansicht kamen auch S. M a t t h e s im Schwarzwald und R. F a b i a n (1936) bei der Bearbeitung devonischer Phyllite des Altvatergebirges.

Bei der genauen Vermessung der Dünnschliffe zeigte sich, dass nur etwa 30 % der Zirkone und Apatite in den Gneisen nicht an Biotit gebunden sind. Diese 30 % sind auf die anderen Komponenten ver-

teilt, und zwar nach der Reihenfolge der Häufigkeit auf Quarz, Cordierit, Plagioklas und Kalifeldspat. Wenn man annimmt, dass die Gneise auf ein granitisches Ausgangsmaterial zurückgehen, in dem nach G. K r a u s (1959) über 90 % aller Zirkone und Apatite an Biotit gebunden sind, dann ist es wahrscheinlich, dass nach einer Abtragung der Granite nur ein Teil der Biotite zusammen mit den eingeschlossenen Schwermineralien sedimentiert worden ist (F. W. F r e i s e 1931, 1932). Die Anlagerung der Zirkone und Apatite in den Gneisen muss also ein sekundärer Vorgang sein, der erst nach der Sedimentation stattfand. Durch eine genaue Auszählung liess sich feststellen, dass sich Zirkone und Apatite in den Gneisen zu meiden scheinen, da eine hohe Apatitkonzentration immer einen niedrigen Zirkongehalt bedingt und umgekehrt. Diese auffallende Trennung kann nur so gedeutet werden, dass schon beim Transport eine Sonderung nach dem spezifischen Gewicht und auch nach der Korngrösse eingetreten ist. Nach allgemeiner Erfahrung in der Erdölgeologie finden sich die Schwermineralien in der Fraktion unter 0,02 mm, also im pelitischen Bereich eines Sedimentes, stärker angereichert. Nun kann man aber in der nördlichen Oberpfalz an Übergangsstudien von Phylliten über Glimmerschiefer zu Gneisen sicher nachweisen, dass sich die Biotite zum ersten Mal zu Beginn des Glimmerschieferstadiums bilden. Für sie kommen als Ausgangsmaterial nur Chlorite und Serizite in Frage, aus denen das pelitische Material der Sedimente vorwiegend aufgebaut ist. Es ist daher wahrscheinlich, dass Apatit und Zirkone schon zu Beginn der Biotitblastese an die Glimmer angelagert und von diesen umwachsen wurden.

Apatite und Zirkone sind daher echte Relikte des sedimentären Detritus.

2 Quarzgerölle

Quarztropfen und Quarzdihexaeder in Kalifeldspat und Plagioklassen kommen in unserem Untersuchungsgebiet sowohl in Para- als auch in Orthogneisen vor. Sie können daher nicht als Indikatoren für Paragesteine in Frage kommen. Die Quarzgerölle die K. R. M e h n e r t aus dem Schwarzwald beschreibt, kommen in Paragneisen mit reliktsch-konglomeratischen Habitus vor, die kaum eine Durchbewegung zeigen. Die Durchbewegung der Gneise in der südlichen Oberpfalz war dagegen so stark, dass dort dem Schliffbild nach alle Quarzgerölle ausgewälzt wurden.

C Präanatektische Gneise

Die Untersuchung der Gefügebilder hat ergeben, dass die Gneise unseres Untersuchungsgebietes polymetamorph sind, da sie von mindestens zwei Durchbewegungen erfasst wurden. Mit der letzten Durchbewegung war zudem eine regionale Anatexis verknüpft, die sich lokal bis zur Diatexis steigern konnte. Dieser regionalen Umprägung sind nach grober Schätzung höchstens 2 % aller Gneise entgangen. Diese präanatektischen Gneise haben im Laufe der Metamorphose keine allzu grossen stofflichen Veränderungen durchgemacht. Aus diesem Grunde ist es oft möglich, ihren quantitativen und qualitativen Mineralbestand mit dem von Sedimenten zu vergleichen.

1 Quarzitische Gneise

Für diese Gesteine ergibt sich eindeutig sowohl aus dem Schliffbild als auch nach dem quantitativen Mineralbestand, dass sie aus Sandsteinen mit tonigem Bindemittel hervorgegangen sind.

Das Gefüge dieser Gesteine ist nur schwach metablastisch, die Hauptkomponente des Mineralbestandes ist Quarz.

Aus der nördlichen Oberpfalz hat A. F o r s t e r (1955) ebenfalls quarzitische Gneise beschrieben und sie als horizontbeständige sedimentäre Lagen gedeutet, die konkordant im Gebirgsbau liegen und einen grosszügigen Faltenbau erkennen lassen.

2 Kalksilikatfelse

Die Verbreitung der Kalksilikatfelse ist in allen Gneisen der südlichen Oberpfalz nachgewiesen, sogar in den metatektischen Typen. Im Untersuchungsgebiet findet man die Kalksilikatfelse zumeist als verwitterungsbeständige Brocken auf tiefgründig zersetztem Untergrund. Die mit einer weisslichen Verwitterungsrinde umgebenen Gesteine sind spezifisch schwer, sehr dicht und auf frischem Bruch blaugrau gefärbt. Im Dünnschliff erkennt man zumeist eine schalige Anordnung Ca-reicher Mineralien. Um einen Kern aus Dipsid und Bytownit legt sich eine Schale von Hornblende und Granat und Bytownit. Eine Zone, in der neben Hornblende auch Biotit auftritt, vermittelt den Übergang zum Gneis. Quarz kommt überall vor. Die An-Konzentration der Plagioklasse nimmt vom Kern nach aussen ständig ab. H. H e n t s c h e l (1944) deutet die Schalen als Zwischengesteinsbildungen, die sich an der Grenze zweier druck- und temperaturgleicher allochemischer Gesteine bilden.

Bei einer Umrechnung des Mineralbestandes auf Metalloxyd erkennt man, dass die Kalksilikatfelse auf alte kalkig-mergelige Konkretionen im Sediment zurückgehen.

3 Biotit-Plagioklas-Gneise

Diese Gesteine sind durch Übergänge mit den quarzitischen Gneisen verbunden und leiten andererseits in ihrem Gefüge und in ihrem Mineralbestand zu den Metablastitgneisen über.

Die Biotit-Plagioklas-Gneise treten im Gelände zumeist als cm-mächtige Linsen auf, die nirgends auf der Karte ausgeschieden werden konnten. Es sind taubenblaue und sehr feinkörnige Gesteine, die ein deutliches "s"-Gefüge erkennen lassen. Im Schliffbild fällt auf, dass diese Gneise ein charakterliches offenes Teilgefüge haben, das sich auch im mikroskopischen Bild die Biotite nie zu geschlossenen Zeilen zusammenfinden. Die Biotit-Plagioklas-Gneise gleichen sehr stark den von K. R. M e h n e r t, D. H o e n e s und G. R e i n beschriebenen Paragesteinen aus dem Schwarzwald. Diese Forscher nehmen, gestützt auf gut erkennbare Reliktstrukturen, an, dass diese Gneise zumeist auf Grauwacken oder Arkosen zurückgehen. Ein ähnliches Ausgangsmaterial dürfte wahrscheinlich auch für unsere Biotit-Plagioklas-Gneise zur Verfügung gestanden haben, obwohl in ihnen keine sedimentären Strukturen zu erkennen waren.

D Anatektische Gneise

Von den anatektischen Gneisen sollen zuerst diejenigen besprochen werden, die das niedrigste Stadium der Umwandlung zeigen.

I Metablastit-Gneise

Diese Gesteine sind in unserem Arbeitsgebiet sehr weit verbreitet. Zu ihnen zählen auch die

1 Cordierit-Plagioklasmetablastit-Gneise

Das erste Stadium der Blastese ist durch eine Um- oder Sammelkristallisation gekennzeichnet, welche die bei der Deformation

erlittene Kornzertrümmerung überprägt. Erst in einem weiter fortgeschrittenen Stadium kommt es zur Umbildung bestimmter Minerale, und zwar in unserem Fall vor allem von Cordierit, Plagioklas und auch von Kalifeldspat.

a) Cordierit-Blastese

In unserem Untersuchungsgebiet ist eine Umbildung von Cordierit auf Kosten von Biotit weit verbreitet. Bei der Verdrängung geht der Cordierit so vor, dass er zuerst kleine rundliche Buchten aus dem Biotit herausnagt, von diesen Einbruchstellen aus immer weiter wächst und dann schliesslich ganze Biotitzellen verdrängt. Über die Richtung der Umwandlung besteht auf Grund der vielen bildschönen Verdrängungsstrukturen kein Zweifel.

Die Cordierite selbst sind meist stark verglimmert oder isotropisiert. Die frischen Körner fallen unter dem Mikroskop durch ihre stahlgrauen Interferenzfarben sehr gut auf. Sie zeigen oft pleochroitische Höfe um die aus Biotit übernommenen Zirkone. Die Bestimmungen des Achsenwinkels unzersetzter Individuen ergab Mittelwerte von $2V = 56^{\circ}$, so dass man nach E. T r ö g e r mit einem Anteil von 30 % Eisencordierit rechnen muss. Da die einzelnen Cordieritkörner meist sklavisch die Biotitzüge nachtasten, kommen oft extreme Xenoblasten mit zuweilen guter α -Regelung // "s" vor.

Cordierit kann sich ausserdem noch auf Kosten von Granat bilden. In den Cordierit-Sillimanit-Gneisen bei Fuchsberg auf Blatt Oberviechtach tritt Cordierit auch verdrängend nach Disthen auf, und zwar zusammen mit Spinell. Er bildet mit diesen symplektitische Verwachsungen, die sich, einen Kelphitrand bildend, um Disthen legen.

b) Sillimanit in Cordierit

W. Wimmenauer hat für die Gneise im Schwarzwald die Verdrängungsfolge Biotit-Cordierit-Sillimanit aufgestellt. Er glaubt auf Grund der Lage von Sillimanitsträhnen und -büscheln im Cordierit annehmen zu müssen, dass dieser bei steigender Temperatur und Durchbewegung zugunsten von Sillimanit instabil wird. Als Beweis für diese Auffassung sieht er die Tatsache an, dass die in Cordierit eingeschlossenen Sillimanite die Berührung mit Internbiotiten meiden und sich auch sonst der vorgegebenen Form des Cordierits sehr gut anpassen.

Diese Umwandlung von Cordierit in Sillimanit scheint in unserem Untersuchungsgebiet keine Gültigkeit zu haben. Hier scheint die straffe Einregelung der Sillimanite und ihr Umfliessen starrer Körper für eine paratektonische Bildung zu sprechen. Diese Auffassung findet auch in der intensiven Kleinfältelung der Sillimanite eine Stütze, die in vielen Schliffen wunderbar zu sehen ist.

In Schliffen aus den Arbeitsgebieten von C. Düsing und St. Dürer ist das höhere Alter des Sillimanits gegenüber Cordierit zu erkennen.

Die Altersfolge in der südlichen Oberpfalz hiesse nun Biotit-Sillimanit-Cordierit oder Biotit+Sillimanit-Cordierit.

Stoffliche Überlegungen zeigen aber, dass es nicht möglich war, dass der Cordierit bei seinem Wachstum nur den Biotit von Biotit-Sillimanitsträhnen verbraucht und die Sillimanite einfach übernommen hat, weil der Cordierit zu seiner Bildung mehr Aluminium und mehr Kieselsäure benötigt, als der Biotit ihm bieten kann. Mit einer solchen Deutung wären auch die Sillimanit-freien Höfe um Internbio-

tite nicht zu erklären. Wir kommen daher den wahren Gegebenheiten wohl am nächsten, wenn wir annehmen, dass Cordierit zu seiner Bildung sowohl Biotit als auch Sillimanit einer vorgegebenen Flaser aufbraucht. Die Sillimanit-freien Höfe entsprechen so dem Diffusionsbereich, über den hinweg ein Ionenaustausch möglich war.

Diese Umsetzungen sind vor allem in den dunklen Lagen der Gneise vor sich gegangen, in den hellen äusserte sich die beginnende Granitisation vor allem in der

c) Plagioklasmetablastese

In deren Verlauf wird durch das Aufspalten rundlicher Plagioklase ein vorher zeiliges oder lagiges Gefüge zunehmend entregelt. Gleichzeitig geht eine deutlich sichtbare Kornvergrößerung des Gesteins vor sich. Die Plagioklase sind alle lebhaft verzwilligt, wobei die Lamellen eng stehen. Die Bestimmung des An-Gehaltes nach der Zonenmethode von R i t t m a n n ergab, dass über die Hälfte aller Plagioklase einen Anorthitgehalt zwischen 25 % und 30 % aufweisen. Diese Homogenität der Plagioklase weist auf eine lange Temperung des Gesteins unter konstanten Bedingungen hin. Ihr ist es auch zuzuschreiben, dass Zonarbau einzelner Körner weitgehend fehlt. Die Plagioklase verdrängen Cordierit und übernehmen dabei dessen Internsillimanite.

Die Plagioklasmetablastese wurde nicht durch die ersten granitischen Intrusionen, die heute als

2 Orthogneise

vorliegen, ausgelöst. Bei der Kartierung hat sich gezeigt, dass die Kontakte zwischen Ortho- und Paragneis überall scharf und deutlich waren. Von einer Übergangszone oder gar von einem Durchmischungsverband, wie ihn in neuerer Zeit K. R.

Me h n e r t (1953), G. R e i n (1952) aus dem mittleren Schwarzwald beschrieben haben, war bei uns nichts zu sehen. Das bedeutet aber, dass es in unserem Untersuchungsgebiet keine Anatexis I im Sinne der Schwarzwaldgeologen gibt. Nach deren Definition wird nämlich die bei der Intrusion der Orthogneise entstehende Mischgesteinsbildung als Anatexis I bezeichnet. Die Schliffbilder haben gezeigt, dass auch die Orthogneise von einer Plagioklasblastese erfasst wurden. Diese Blastese muss daher auf eine regionale Temperaturerhöhung zurückgeführt werden, die wahrscheinlich als ein Vorbote der varistischen Gebirgsbildung zu deuten ist.

Die Plagioklasmetablastese findet in den

Perlgneisen

ihren Höhepunkt. Da diese Gneise offensichtlich in ihrer Entwicklung einen Sonderweg gegangen sind, wurde ihrer Beschreibung ein eigenes Kapitel vorbehalten.

Die Perlgneise liessen sich im Gelände als kilometerlange und viele hundert Meter mächtige Züge auskartieren, die meist herzynisch streichen.

Im Handstück lassen diese Gesteine ein Biotitgrundgewebe erkennen, in dem eine Vielzahl rundlicher Feldspäte völlig regellos aufgesprosst ist. Durch diese Sprossung ist es zur Auflösung eines einmal vorhandenen Lagenbaues gekommen. Um das Gefüge dieser Gesteine mit einem Wort treffend bezeichnen zu können, nennt man sie häufig nach C. W. von G ü m b e l "Perlgneise". Unter dem Mikroskop erkennt man mit einem Blick das Vorwalten der Plagioklase mit den typischen rundlichen Formen metablasti-

scher Feldspäte. Wie die Drehtisch-Messungen ergaben, handelt es sich bei ihnen meist um Andesine. Sie beteiligen sich oft bis über 50 % am Aufbau des Gesteins. Bei einer Durchsicht der Dünnschliffe aus der Institutsammlung ergab sich, dass das eben kurz skizzierte Gefüge für alle Perlgneise typisch ist, gleichgültig, ob sie aus dem Bayerischen Wald oder aus der Oberpfalz stammen. Das gleiche gilt auch für den modalen Stoffbestand, der über weite Bereiche gleich ist.

Derartig hohe Plagioklasgehalte sind sonst aus keinem der anderen Gneistypen unseres Untersuchungsgebietes bekannt geworden und es erhebt sich hier die Frage, wie und warum eine solche Konzentration in den Perlgneisen zustande gekommen ist.

Die Hinweise im Gelände zeigen, dass die Perlgneise rekristallisierte Tiefenmylonite im Sinne von G. Fischer (1936) sind und dass ihr Gefüge und ihr Mineralbestand nicht auf eine gesteigerte Anatexis zurückzuführen ist. Da der Mineralbestand der Perlgneise nicht unmittelbar aus dem der übrigen Gneise abgeleitet werden kann, muss man mit tiefgreifenden Stoffumsetzungen rechnen.

II Metatexitgneise

Die Metatexitgneise treten im Untersuchungsgebiet östlich der Linie Seebornhammer - Thann - Alletsried auf, im Norden werden sie von der Schwarzach begrenzt. Das augenfälligste Merkmal dieser Gneise sind ihre Metatekte, Schlieren, Adern und Nester von Quarz, Plagioklas und Kalifeldspat - die das alte s-Gefüge häufig quer durchgreifen. Wie die Integrationsergebnisse zeigen, tritt in den Metatexitgneisen der

Kalifeldspat

stark in den Vordergrund. Um in den Schliffen den Kalifeldspat möglichst genau bestimmen zu können, wurden die Schliffe nach dem Verfahren von F. C h a y e s (1952) gefärbt. In allen Fällen ist das jüngere Alter der Kalifeldspäte gegenüber Plagioklas unbestreitbar. Die Vermessung der Achsenwinkel unter dem U-Tisch ergaben für $2 V_z$ Werte zwischen 62° und 65° , die für Mikrokline schon zu niedrig liegen. Es dürfte sich wohl um Zwischenglieder handeln, die noch nicht ganz von Orthoklas in Mikroclin umgestanden sind. Bei der Frage, ob der Kalifeldspat der Metatexitgneise zugeführt worden ist oder aus den umgebenden Gesteinen stammt, geben verschiedene Beobachtungen den Hinweis, dass für die Gneise unseres Untersuchungsgebietes eine Kalizufuhr wahrscheinlich ist.

III Diatexite

Bei diesen Gesteinen, die vor allem an den Stockhängen von Alletsried vorkommen, ist die "Granitisierung" schon so weit fortgeschritten, dass granitähnliche Gefüge entstehen. Hier haben sich die Metatekte schlierig verbreitet und Biotit aufgenommen. Allerdings scheint das alte Gefüge noch manchmal "nebulitisch" (J. J. S e d e r h o l m) hindurch.

E Der Stoffhaushalt der Gneise

Die Schliffbeobachtungen haben gezeigt, dass im Ablauf der Metamorphose einige Mineralien der Gneise durch andere ersetzt werden, so z. B. Biotit durch Cordierit. Dabei taucht immer wieder die Frage auf, ob diese Umbildungen in einem geschlossenen System durch Änderungen der ptx-Bedingungen erzwungen wurden, oder ob in einem offenen Stoffsystem Komponenten abgewandert und andere an ihre Stelle getreten sind.

Die Beantwortung der Frage, ob in einem vorgegebenen Raum Stoffkonstanz herrscht oder nicht, setzt vor allem die Kenntnis des quantitativen Stoffbestandes voraus. Um hier eine sichere Grundlage zu haben, wurden aus etwa 300 Dünnschliffen 70 Stück ausgesucht und integriert.

I Stoffbestand der präanatektischen Gneise

Bei der mikroskopischen Bearbeitung der Gneise wurde klar, dass einige Varietäten keinerlei Merkmal einer anatektischen Überprägung erkennen liessen. Sie entsprechen in ihrem Gefüge und Mineralbestand weitgehend metamorphen Sedimentgesteinen. Besonders deutlich war das bei den

1 Quarzitischen Gneisen

zu erkennen. Nach der Lage der Dinge kommen für diese Gneise nur Sandsteine als Ausgangsmaterial in Frage. Diese Annahme wird durch einen Vergleich der modalen Stoffbestände von Gneisen und nicht metamorphen Sandsteinen bestätigt. Bei den

2. Kalksilikat-Gneisen

ist es nicht mehr ohne weiteres möglich, aus dem durch Integration ermittelten Mineralbestand sofort auf das Ausgangsmaterial zu schliessen, da es sich bei ihnen nicht um klastische Sedimente handelt. Wenn man den modalen Mineralbestand auf Gewichtsprozent der Metalloxyde umrechnet, kommt man auf hohe Kieselsäure- und Kalkwerte. Diese Werte entsprechen fast genau denen von Diluvialtonen. Kalkmergel zeigen dagegen einen geringeren SiO_2 -Gehalt und einen höheren CaO -Gehalt als die Kalksilikatfelse.

3. Die präanatektischen Biotit-Plagioklas-Gneise

Diese feinkörnigen Gesteine erinnern schon im Handstück an ein "sandiges" Ausgangsmaterial. Dieser Eindruck wird durch die Schliffbilder verstärkt, da diese Gneise dem Gefüge nach meta-

morphen Grauwacken oder Arkosen entsprechen. Sie zeigten keinerlei Anzeichen einer Metablastese und leiteten durch einen oft höheren Quarzgehalt zu den quarzitischen Gneisen über. Bei einer Umrechnung des Mineralbestandes auf Metalloxyde zeigte es sich, dass diese Gesteine im Chemismus sowohl dem von Grauwacken als auch dem von Arkosen entsprechen. In unserem Fall ist vor allem das Natrium-Kaliumverhältnis zu verwachsen, um es als Kriterium für ein Ansprechen des Ausgangsmaterials als Arkose (K meist $>$ Na) oder als Grauwacke (Na meist $>$ K) verwenden zu können.

II Der Stoffhaushalt der anatektischen Gneise

Bei den anatektischen Gneisen läuft das Problem des Stoffhaushalts auf die Frage hinaus, ob während der Anatexis Stoffzufuhr stattgefunden oder ob innerhalb eines vorgegebenen Raumes Stoffkonstanz geherrscht hat. In der Natur wird es wohl so sein, dass sich die beiden Möglichkeiten nicht ausschliessen und dass sich sowohl umgelagerte als auch von aussen zugeführte Stoffe am Aufbau der anatektischen Gesteine beteiligen.

Eine eindeutige Klärung der Frage ist sehr schwierig, da man die quantitative Zusammensetzung der Gneise vor ihrer anatektischen Umprägung nicht kennt.

1 Die Cordierit-Metablastit-Gneise

Es ist durch viele Schiffsbeobachtungen gesichert, dass in diesen Gneisen Biotite durch Cordierit verdrängt werden. Um die Fragen, die sich aus dieser Umsetzung für den Stoffhaushalt ergeben, ist es gut, sie auch formelmässig zu erfassen. Hierbei wurde so vorgegangen, dass nach den bei E. Tröger (1956) angegebenen Formeln sowohl für Biotit als auch für Cordierite der Inhalt von

1 ccm in gr. SiO_2 , Al_2O_3 usw. berechnet wurde. Für den Biotit wurde ein $\text{MgO} : \text{FeO}$ -Verhältnis von 1 : 1,5, für den Cordierit eines von 3 : 1 angenommen. Wenn man die Differenzen der einzelnen Oxyde bildet, kommt man zu folgendem Ergebnis:

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	K_2O	H_2O
Bi	1,115	0,226	0,172	1,104	0,233	0,302	0,115
Co	1,268	0,861	-	0,244	0,277	-	-
	0,153	0,635	0,172	0,860	0,044	0,044	0,115

Selbst wenn man in Betracht zieht, dass das $\text{MgO} : \text{FeO}$ -Verhältnis sowohl in den Biotiten als auch in den Cordieriten nicht konstant ist, so zeigen diese Zahlen doch, dass bei der Ersetzung eines gegebenen Raumteils Biotit durch Cordierit zu einer Anreicherung von Kieselsäure und Tonerde, sowie auch von Magnesium kommt.

Man sieht also, dass zur Cordieritbildung aus Biotit Aluminium, Kieselsäure und Magnesium zusätzlich benötigt werden und Kali, Eisen und Wasser abwandern müssen. Es hat also im vorgegebenen Raum keine Stoffkonstanz geherrscht.

2 Die Perlgneise

Diese Gneise können nicht einfach als rekristallisierte Tiefenmylonite gedeutet werden, da ihr Mineralbestand nicht unmittelbar aus dem der übrigen Gneise abgeleitet werden kann. Sie entsprechen heute in ihrer modalen Zusammensetzung weitgehend Granodioriten oder Quarzglimmerdioriten. Der basische Charakter (Angehalt bis zu 40 %) kommt wahrscheinlich dadurch zustande, dass bei der Durchbewegung neben Kieselsäure vor allem Kalium abwandert ist. Dadurch kam es schon zu einer relativen Anreicherung von Calcium. Da diese Menge jedoch nicht ausreicht, was rechne -

risch leicht nachzuweisen ist, muss auf den Störungsbahnen Calcium aus tieferen Zonen zugewandert sein und so den heutigen Chemismus geprägt haben.

Wenn wir zum Schluss die Probleme überschauen, die der Stoffhaushalt der Gneise aufgeworfen hat, dann können wir sagen, dass bei den anatektisch nicht überprägten Gesteinen der modale Stoffbestand oder ihre errechnete chemische Zusammensetzung direkt mit den entsprechenden Daten von Sedimentgesteinen verglichen werden konnte. Diese Methode konnte bei den anatektischen Gesteinen nicht mehr angewendet werden, da die Beobachtungen beweisen, dass sich ihr Chemismus während der Anatexis verändert haben muss.

Bei diesen Gesteinen stand immer die Frage im Vordergrund, ob es während der Anatexis zu Stoffverschiebungen gekommen ist oder nicht. Auf Grund der makroskopischen und auch der mikroskopischen Untersuchungen kann gesagt werden, dass zumindest in der südlichen Oberpfalz nicht mit einer Stoffkonstanz während der Metamorphose gerechnet werden kann.

Beim para- bis posttektonischen Umbau von Biotit in Cordierit kommt es zu einer Anreicherung von SiO_2 , Al_2O_3 und Mg, während K und H_2O verschwinden und an anderer Stelle zum Aufbau der Metatekte verwendet werden. Das bei dieser Umsetzung frei werdende Eisen wird als Erz zumeist an Ort und Stelle fixiert. Dieser Vorgang bedingt eine Trocknung des Mineralbestandes und eine Anpassung an die Bedingungen der Hornfelsfacies. Im weiteren Ablauf der Metamorphose werden häufig ganze Cordieritzeilen wieder von Plagioklas verdrängt, hier wird Na erneut zugeführt. Die spätere Verdrängung der Plagioklase und Cordierite in den Meablastitgneisen durch Kalifeldspat zeigt, dass in die Gneise auch K eingewandert sein muss. Auch bei der Perlgneisbildung ist mit Stoffverschiebungen grösseren

Ausmasses zu rechnen. Um zu ihrem Mineralbestand zu kommen, müssen bei der Durchbewegung erhebliche Mengen von K ab- und von Ca zugewandert sein.

In den Gesteinen lässt sich eine gesetzmässige Altersabfolge und eine gesetzmässige Verdrängung der Mineralien feststellen, die regionale Gültigkeit besitzt.

Wir kommen bei dem Problem der Stoffwanderungen den wahren Gegebenheiten wohl am nächsten, wenn wir Vergleiche mit abkühlenden Magmen suchen. Diese verändern ja auch laufend ihre Zustandsbedingungen und damit ihre Mineralgesellschaft.

Wir können annehmen, dass in den Gneisen in verschiedenen Stockwerken verschiedene ptx-Bedingungen herrschen, auf die sich der Mineralbestand weitgehend einstellt. In unserem Falle erreichte die Temperatur während oder nach der Cordieritbildung ihren Höhepunkt, um danach immer weiter abzusinken. Diesem Abfall der Temperatur passen sich auch die Zusammensetzungen der Lösungen an, so dass es innerhalb einer Zone an jedem Ort zu den gleichen Verdrängungen kommt. Bei dieser Hypothese sind keine Diffusionswege der Ionen durch das ganze Gebirge nötig, sondern es genügen vielmehr geringfügige Diffusionen aus einer thermischen Schale in die nächste.

F Zusammenfassung

1 Sedimentäre Relikte in den Paragneisen

In allen Paragneisen sind nur mehr die Zirkone und Apatite mit einiger Sicherheit als sedimentäre Relikte anzusprechen.

2 Orogenese I, Intrusion der ersten Granite

In der südlichen Oberpfalz scheinen die ersten Granite in ein seichtes Stockwerk der Kruste intrudiert zu sein, da sie gegen die Paragesteine mit scharfen Kontakten abgegrenzt sind und klar umrissene Gänge bilden. Eine Mischzone zwischen Para- und Orthogesteinen war nirgends zu beobachten. Demnach gibt es in unserem Untersuchungsgebiet keine Anatexis I im Sinne der Schwarzwaldgeologen.

3 Orogenese II

Die Para- und Orthogesteine liegen heute als Gneise vor, die sich regional durch einheitliche Gefügemerkmale auszeichnen. Das weist darauf hin, dass die Gesteine in einem einheitlichen Formungsakt geprägt wurden. Zur Bestimmung der physikalischen Bestimmung dieser Durchbewegung sind die Beobachtungen wichtig, dass die biotitarmen Orthogneise eine Kataklyse erfahren haben. Hieraus ist zu schliessen, dass die Vergneisung nicht im katazonalen Bereich stattfand, sondern bei niedrigeren Temperaturen.

4 Anatektische Umprägungen der Gneise

Der Durchbewegung der Gesteine folgte im ganzen Raum eine starke Durchwärmung, welche zu einer blastischen Überprägung des gesamten Mineralbestandes führte.

Eine Neubildung der Anatexis ist der Cordierit, der oft ganze Biotitzeilen verdrängte. Diese Cordieritbildung bedingte eine Trocknung der Mineralparagenese und eine Anpassung der Gneise an die Bedingungen der Hornfelsfacies. Kurz nach dem Cordierit folgte die Plagioklasmetablastese und darauf die Kalifeldspatmetablastese. In Gebieten stärkster Durchwärmung kam es schliesslich zur Bildung von flüssigen Gesteinsanteilen, die vor allem aus Quarz und

Feldpat bestehen und sich in den Metatekten konzentrieren. Diese Ansammlung leicht mobiler Anteile in gewissen Räumen wurde durch eine erneute Durchbewegung der Gneise begünstigt. In einigen, räumlich eng begrenzten Gebieten stieg die Temperatur so hoch an, dass auch die dunklen Gemengteile mobilisiert wurden und es zur Ausbildung von Diatexiten kommen konnte. Nach dem Abklingen der Temperatur erfolgte die Wiederfestlegung der Mobilisate. Die starke Durchwärmung im Gefolge der Orogenese II scheint im Zusammenhang mit der Granitisierung im tieferen Untergrund zu stehen.

5 Orogenese III, Aufringen der Massivgranite

Nach der anatektischen Umprägung der Gneise erfolgte ein Aufstieg der Kristallinscholle und damit verbunden eine Abtragung. Diese Abtragung muss einen langen Zeitraum gedauert haben, bevor das Gebiet wieder von einer gebirgsbildenden Phase erfasst wurde, in deren Gefolge zuerst die feinkörnigen moldanubischen Granite und dann die gröberkörnigen Granite vom Typus Neunburg v. W. intrudierten.

6 Der Stoffhaushalt der Gneise

Bei den anatektisch nicht umgeprägten Gneisen konnte auf Grund ihres Gefüges, ihrer modalen Stoffbestände und ihrer errechneten chemischen Zusammensetzung ihr sedimentäres Ausgangsmaterial noch ziemlich sicher bestimmt werden.

Bei den anatektisch umgewandelten Gneisen war das nicht mehr möglich, da sie durch Stoffumsetzungen während der Metamorphose ihrem Chemismus stark verändert haben. Für diese Gneise ist es auf Grund der Untersuchungen sicher, dass während der Metamorphose innerhalb eines vorgegebenen Raumes keine Stoffkonstanz ge-

herrscht haben kann. In diesen Gesteinen lässt sich eine regional einheitliche und gestzmässige Verdrängung von Mineral zu Mineral feststellen. In unserem Gebiet gilt folgende Verdrängungsabfolge: Biotit - Cordierit - Plagioklas - Kalifeldspat. Cordierit kann auch direkt von Kalifeldspat verdrängt werden. Bei diesen Umsetzungen kommt es teils zu Stoffabfuhr, teils zu Stoffzufuhr. Es ist aber wahrscheinlich, dass diese Verdrängungen nicht auf Ionen zurückzuführen sind, die durch den ganzen Gneiskomplex hindurchgewandert sind, sondern vielmehr auf Lösungen, die jeweils in dem Temperaturbereich des Gneiskomplexes stabil waren, das bei der Metamorphose gerade durchlaufen wurde.

Gekürztes Literaturverzeichnis

Es werden nur diejenigen Schriften aufgeführt, die in der Kurzfassung zitiert worden sind.

- B e c k e , F. Fortschritte auf dem Gebiet der Metamorphose, Fortschritte Min. Petr. 1 , 1911
Stoffwanderungen bei der Metamorphose
Min. Petr. Milt. 36 , 1923, 25-41
- C h a y e s , F. On the staining of potash-feldspar with
sodium cobalti-nitrite in thin-sections
Am. Mineral 37 , 1952
- D o r n , P. Der Kleinenzenrieder Nebenpfahl bei Rötze
im Bayerischen Wald
Z. D. G. G. 88 , 1936
- D ü r r , St. Geol. petrographische Untersuchungen auf
dem Ostteil des Gradabteilungsblattes Salling
Dipl. Arbeit, München 1958 (Maschinenschrift)
- D ü s i n g , C. Geologische und petrographische Untersuchungen
auf dem Gradabteilungsblatt Oberviechtach
in der südlichen Oberpfalz
Dipl. Arbeit, München 1957 (Maschinenschrift)
- D r e s c h e r -
K a d e n , F. K. Über Assimilationsvorgänge, Migmatitbildung
und ihre Bedeutung bei der Entstehung von
Magmen
Chem. Erde 10 , 1936

- F a b r i a n , R. Die Metamorphose devonischer Phyllite
im Altvatergebirge
Chem. Erde 10, 1936
- F i s c h e r , G. Das Dach des Moldanubikums in Schlesien,
dem Bayerischen Wald und Mähren
Jb. Preuss. Geol. L.A. 56, 1936
- Über das Grundgebirge der Bayerischen
Ostmark. Die Gneise nördlich des bayeri-
schen Pfahls.
Jb. Preuss. Geol. L.A. 59, 1938
- Granit und Sial
Geol. Rundschau 39, H. 1, 1951
- Über das Moldanubikum der Bayerischen Ober-
pfalz
G. Sonderheft "Der Aufschluss" 1957
- F o r s t e r , A. Geologische Aufnahme der Gneisfalten -
schlinge von Moosbach-Eslarn
Dipl. Arbeit, München 1955 (Maschinenschrift)
- F r e i s e , F.W. Untersuchung von Mineralien auf Abnutzbar-
keit bei der Verfrachtung
Min. Petr. Milt. 41, 1931
- G ü m b e l , C.W.v. Geologie von Bayern, 1894, Kassel

- H e n t s c h e l , H. Die kalksilikatischen Bestandmassen in
den Gneisen des Eulengebirges
Tscherms. Min. Petr. Mitt. 55, 1943
- H o e n e s , D. Petrogenese im Grundgebirge des Süd -
schwarzwaldes
Heidelb. Mitt. Min. Petr. 1, 1948, 121-202
- M a t t h e s , S. Mineralsprossung und Stoffmobilisation wäh-
rend der Metamorphose der Paragneise im
mittleren kristallinen Vorspessart
Fortschr. Min. 32, 1953, 47-51
- M e h n e r t , K. R. Petrographie und Abfolge der Granitisation im
Schwarzwald I.
N. Jb. Min 85, 1953, 60 -140
- Petrographie und Abfolge der Granitisation im
Schwarzwald II
N. Jb. Min 96, 1958, 39 - 90
- R e i n , G. Der Werdegang des Orthits in der magmatischen
und metamorphen Abfolge des mittleren
Schwarzwaldes
N. Jb. Min 84, 3, 1952, 365-435
- S e d e r h o l m , On migmatites and associated precambrian
J. J. rocks of southwestern Finland
Bull. Commiss. geol. Finlande 58, 1923
- S u e s s , F. E. Das Grossgefüge der böhmischen Masse
Zentralbl. Min. B 1926

- Tr ö g e r , W E. Optische Bestimmung der gesteinsbildenden
Mineralien
Stuttgart 1956
- W e i n s c h e n k Geologisches aus dem Bayerischen Wald
E. S. Ber. Bayer. Akad. Wiss. Math.
Phys. K. 29, 1899
- W i m m e n a u e r , Cordieritführende Gesteine im Grundgebir-
W. ge des Schauinslandgebietes (südlicher
Mittelschwarzwald)
N. Jb. Min 80, 1950, 375 - 436
- W e b e r , M. Die Protoblastese
Geol. Rundschau, 26, 1935
- W u r m , A. Der Bauplan des varistischen Gebirges in
Bayern
N. Jb. Min. B. B. 66 B, 1928

